

**PENGUNAAN MATLAB SIMULINK DALAM PENGAJARAN DAN PEMBELAJARAN
PENUKAR KUASA MOD PENSUISAN (PKMP) UNTUK PELAJAR PRA - SISWAZAH**

**Yushaizad Yusof
Nasrudin Abd. Rahim**

Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

Abstrak

Elektronik kuasa telah dijadikan kursus asas jabatan untuk para pelajar pra-siswazah program kejuruteraan elektrik dan elektronik di UKM. Untuk membantu para pelajar memahami kursus ini dengan lebih mudah, pantas dan berkesan; proses pembelajaran dan pengajaran berasaskan sistem pemodelan dan penyelakuan komputer diperkenalkan. Pendekatan ini adalah alternatif kepada latihan amali di makmal yang berkos tinggi. Kertas kerja ini membincangkan penggunaan perisian Matlab Simulink dalam memodel **penukar Buck**. Para pelajar didedahkan kepada bagaimana membina model litar, menganalisis operasi pensuisan dan sistem kawalan litar sebelum penyelakuan **penukar Buck** dilaksanakan. Hasil keputusan daripada penyelakuan komputer menentusahkan teori yang telah dibincangkan dalam kuliah. Justeru itu, kertas kerja ini boleh menjadi sebagai panduan asas untuk makmal latihan amali kursus elektronik kuasa berasaskan pemodelan dan penyelakuan komputer.

Kata kunci: pemodelan; penyelakuan; **penukar Buck**; Matlab Simulink; elektronik kuasa

Abstract

Power electronics has become a departmental basic course for undergraduate students of electrical and electronics engineering program at UKM. To help students understand this course easily, quickly and efficiently; teaching and learning process based on computer modeling and simulation are introduced. This approach is an alternative to laboratory experiment which is costly. This paper discusses implementation of Matlab Simulink software in modeling a Buck converter. Students are exposed on how to construct a circuit model, to analyze switching operation, and control system before Buck converter simulation is being executed. Results from the computer simulation should verify the theory that has been discussed in class. Hence, this paper can be a basic guideline for computer modeling and simulation-based laboratory experiment for power electronics course.

Keywords: modeling; simulation; Buck converter; Matlab Simulink; power electronics

PENGENALAN

Kejuruteraan elektronik kuasa memainkan peranan yang cukup penting dalam perkembangan bidang industri dan teknologi kejuruteraan kuasa. Elektronik kuasa ditakrifkan sebagai aplikasi peranti elektronik keadaan pepejal untuk kawalan dan penukaran kuasa elektrik. Elektronik kuasa menggabungkan kuasa elektrik, elektronik dan kawalan, Rashid (2004). Litar elektronik kuasa atau lebih dikenali sebagai penukar kuasa, menukarkan kuasa elektrik dari satu bentuk ke bentuk yang lain menggunakan peranti elektronik, Hart (1997). Kursus elektronik kuasa adalah berorientasikan aplikasi dan merupakan kursus yang terdiri daripada pelbagai disiplin kejuruteraan elektrik.

Pemahaman terhadap operasi litar penukar kuasa adalah sangat penting, dengan itu para pelajar memerlukan pengetahuan yang jelas terhadap perubahan yang berlaku kepada bentuk gelombang arus dan voltan apabila sesuatu proses penukaran kuasa dilaksanakan. Walaupun para pelajar belajar teori berkaitan dalam kuliah, lazimnya, cuma segelintir pelajar sahaja yang benar-benar faham tentang apa yang mereka pelajari. Manakala kebanyakan para pelajar agak sukar memahami mata pelajaran ini, apatah lagi jika melibatkan teknik kawalan dan analisis sistem dinamik litar penukar kuasa. Maka, suatu kaedah atau pendekatan baru yang berkesan dan mudah difahami perlu dicari untuk mengatasi masalah para pelajar tersebut.

Di Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, UKM, kursus elektronik kuasa adalah kursus asas jabatan yang diambil oleh para pelajar tujahan program kejuruteraan elektrik dan elektronik Tahun 3. Antara objektif kursus tersebut ialah penekanan terhadap kebolehan para pelajar melakukan pemodelan dan penyelakuan litar elektronik kuasa. Penyelakuan komputer memainkan peranan yang sangat penting dalam merekabentuk, menganalisis, dan menaksir penukar elektronik kuasa dan sistem pengawalnya, Pires dan Silva (2002). Su, Chen dan Wu (2002) menyatakan bahawa bagi mempercepatkan proses pembelajaran, aplikasi alat perisian penyelakuan terbantu komputer yang mesra pengguna dan berkuasa untuk menolong para pelajar membiasakan diri dengan sifat dinamik litar penukar pensuisan arus terus ke arus terus (AT-AT) tidak dapat dielakkan. Sebelum sesuatu prototaip dibina, menjadi kebiasaan kepada para penyelidik untuk melaksanakan pendekatan penyelakuan dan pemodelan komputer supaya kos dapat dijimatkan, masa dapat dipendekkan dan ujian kerosakan dapat dihindari serta parameter-parameter penting perkakasan diperolehi. Berdasarkan kenyataan-kenyataan di atas, adalah jelas bahawa pembelajaran elektronik kuasa jika menggunakan kaedah penyelakuan dan pemodelan menggunakan aplikasi komputer akan mempertingkatkan kefahaman para pelajar dengan lebih berkesan dan pantas.

Tidak dinafikan bahawa kemudahan makmal pengajaran elektronik kuasa khusus mampu membantu para pelajar memahami dengan lebih pantas dan berkesan tentang sistem elektronik kuasa. Bagaimanapun untuk menyediakan kemudahan makmal pengajaran elektronik kuasa yang khusus secara amnya memakan belanja yang sangat besar, Sahoo, Vejjan dan Gobbi (2008). Oleh yang demikian, kebanyakan universiti yang menawarkan kursus ini tidak memiliki kemudahan makmal pengajaran elektronik kuasa yang khusus. Di UKM terdapat juga latihan amali di makmal yang dimasukkan dalam silibus elektronik kuasa, tetapi tidak dapat dilaksanakan secara menyeluruh kerana kekangan dari segi kemudahan peralatan makmal yang terhad dan hanya mampu digunakan untuk jenis penukar kuasa arus ulang alik ke arus terus (AU-AT) tanpa kawalan sahaja. Justeru itu, kaedah penyelakuan dan

pemodelan komputer dicadangkan sebagai suatu cara alternatif pembelajaran elektronik kuasa kerana ia tidak memerlukan kos yang besar tetapi sangat berkesan.

Simulink adalah pakej perisian untuk pemodelan, penyelakuan dan analisis sistem dinamik, The Mathworks Inc. (2009). Ia merupakan suatu tingkat upaya Matlab, diaplikasikan untuk sistem linear dan tak linear, menjadikannya sangat sesuai digunakan sebagai alat yang berkesan dalam pengajaran dan pembelajaran sistem elektronik kuasa. Simulink adalah persekitaran interaktif untuk pemodelan, analisis dan penyelakuan sistem dinamik. Ia menyediakan antara muka pengguna secara grafik dalam bentuk perwakilan gambar rajah blok. Sesebuah model sistem dikonfigurasi melalui penyambungan blok-blok gambar rajah yang berlainan peranan yang didapati dari perpustakaan Simulink. Selain itu, kotak perkakasan SymPowerSys merupakan pakej perisian yang digunakan untuk membangunkan aplikasi sistem kuasa dalam persekitaran Simulink. Menerusi antara muka pengguna secara grafik dan perpustakaan yang ekstensif, ia menyediakan kepada para jurutera kuasa dan para penyelidik suatu alat rekabentuk moden dan interaktif untuk membina model penyelakuan secara pantas dan mudah. Justeru itu, Matlab Simulink/SymPowerSys telah digunakan dengan meluas oleh para pengajar untuk mempertingkatkan pengajaran pencirian keadaan fana dan mantap mesin elektrik, pemodelan penukar elektronik kuasa, kestabilan fana sistem kuasa dan kawalan, Ayasun dan Nwankpa (2006).

Pakej perisian Matlab banyak digunakan dalam pengajaran, penyelidikan dan pembelajaran yang berkaitan dengan penyelakuan komputer di UKM semenjak lebih dari 10 tahun lepas. Kursus Matlab Simulink telah diajarkan kepada para pelajar Fakulti Kejuruteraan, UKM ketika di Tahun 1, maka masa yang diperlukan untuk mempelajari dan mengulangkaji cara penggunaan Matlab Simulink dapat dipercepatkan. Berdasarkan aplikasi dan kelebihan yang dimiliki, maka Matlab Simulink dipilih sebagai pakej perisian pemodelan dan penyelakuan untuk kursus elektronik kuasa di UKM.

PENUKAR KUASA MOD PENSUISAN

Dalam litar penukar kuasa mod pensuisan, suis kuasa beroperasi dengan cara suis ditutup sepenuhnya atau suis dibuka sepenuhnya. Keluaran adalah sama dengan masukan ketika suis ditutup dan menjadi sifar semasa suis dibuka. Penutupan dan pembukaan suis secara berkala menghasilkan keluaran denyut seperti ditunjukkan pada Rajah 1. Purata voltan keluaran, V_o yang terhasil daripada proses pensuisan diberikan oleh persamaan berikut,

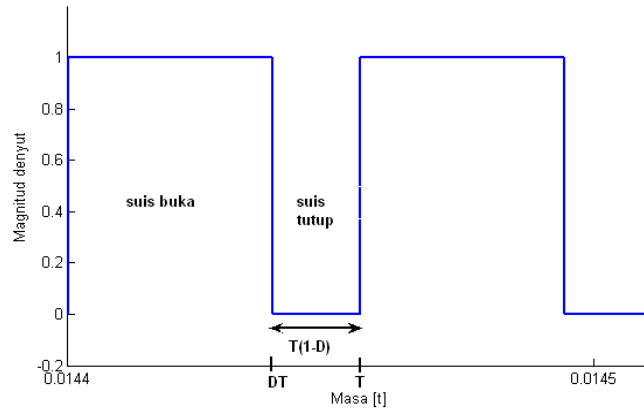
$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_g dt = V_g D \quad (1)$$

di mana V_g ialah voltan masukan AT, T ialah tempoh pensuisan dan D mewakili nisbah kerja.

Magnitud V_o dikawal dengan menyelaraskan D . Maka ungkapan persamaan untuk D ialah,

$$D = \frac{t_{on}}{t_{off} + t_{on}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} f \quad (2)$$

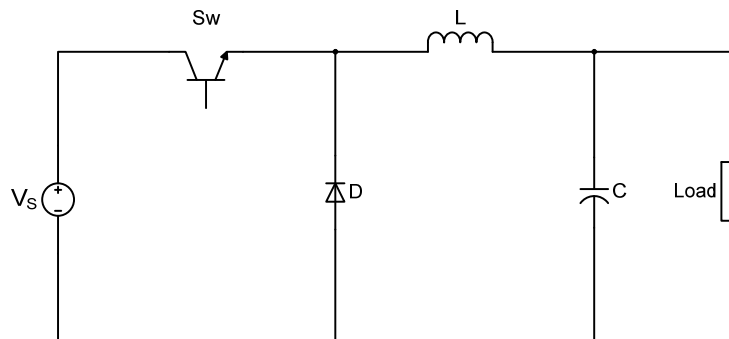
Masing-masing t_{on} , t_{off} dan f ialah tempoh masa suis ditutup, tempoh masa suis dibuka dan frekuensi pensuisan. Nilai untuk D ialah antara 0 hingga 1.



RAJAH 1: Denyut pensuisan

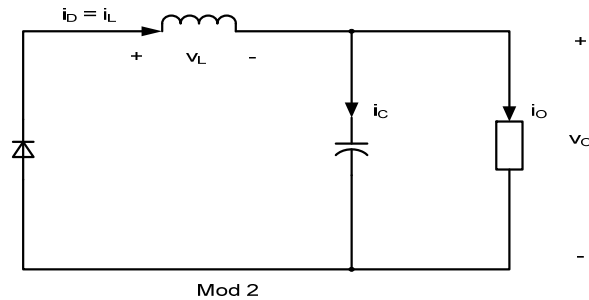
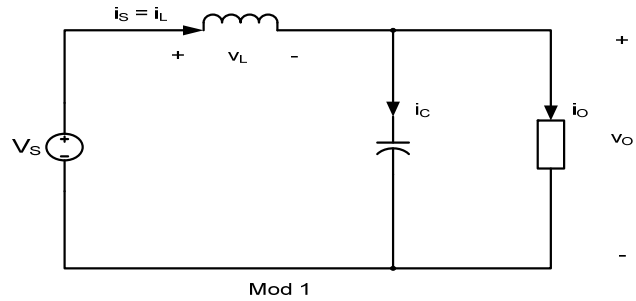
PEMODELAN PENUKAR BUCK

Penukar kuasa arus AT-AT mod pensuisan jenis Buck atau penukar kuasa AT-AT injak turun seperti yang digambarkan pada Rajah 2, dipilih sebagai model litar penukar kuasa dalam kertas kerja ini. **Penukar Buck** berfungsi untuk mendapatkan voltan keluaran yang lebih rendah atau sama dengan masukan. Dalam pemodelan litar, **penukar Buck** dianggap unggul, tiada kuasa yang dibebaskan, semua kuasa akan diserap oleh beban, oleh itu kecekapan adalah 100%.



RAJAH 2 : Litar **penukar Buck**

Pendekatan yang digunakan untuk menganalisis litar Buck ialah melalui operasi buka tutup suis. Diod menyediakan laluan untuk arus induktor semasa suis dibuka dan dipincang belakang ketika suis ditutup. Bagi mendapatkan keluaran voltan dan arus AT yang licin penuras laluan rendah L-C disambung selepas suis pada litar **penukar Buck** asas. Saiz induktor dan saiz kapasitor lebih kecil digunakan sebagai penuras laluan rendah sekiranya frekuensi pensuisan tinggi. Kebiasaannya julat frekuensi pensuisan untuk **penukar Buck** ialah antara 20 hingga 50 kHz. Frekuensi pensuisan yang sangat tinggi boleh meningkatkan kehilangan kuasa pada suis kuasa dan mengakibatkan tegasan pada suis kuasa. Suis unggul digunakan sebagai suis kuasa dalam pemodelan litar **penukar Buck**. Selain itu, pemodelan **penukar Buck** adalah berasaskan operasi mod arus berterusan (CCM) dan analisis dilakukan semasa keadaan mantap sahaja.



RAJAH 3 : Litar setara semasa suis ditutup dan dibuka

A. Analisis semasa suis ditutup (Mod 1)

Dengan merujuk pada Rajah 3, bila suis ditutup, diod akan dipincang belakang. Voltan induktor v_L menjadi,

$$v_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (3)$$

Oleh sebab kadar perubahan arus induktor adalah positif malar, i_L meningkat secara linear. Jika Δi_L adalah arus riak puncak-ke-puncak bagi induktor seperti yang ditunjukkan pada Rajah 4. Persamaan (3) diubahsuai menjadi,

$$\begin{aligned} \frac{di_L}{dt} &= \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s - V_o}{L} \\ (\Delta i_L)_{\text{tutup}} &= \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (4) \end{aligned}$$

B. Analisis semasa suis dibuka (Mod 2)

Bila suis dibuka, diod akan dipincang depan, persamaan v_L boleh diungkapkan seperti berikut,

$$v_L = 0 - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (5)$$

Oleh sebab kadar perubahan arus induktor adalah negatif malar, i_L menurun secara linear seperti ditunjukkan dalam Rajah 4. Seterusnya persamaan (5) menjadi,

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{-V_o}{L}$$

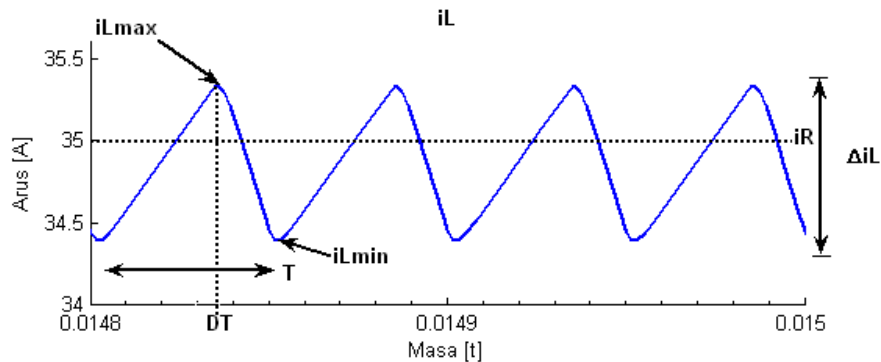
$$(\Delta i_L)_{\text{Buka}} = \left(\frac{-V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (6)$$

Dalam operasi keadaan mantap, perubahan bersih i_L bagi satu tempoh masa pensuisan ialah sifar. Dengan menggabungkan kedua-dua persamaan (5) dan (6),

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T = 0 \quad (7)$$

Maka,

$$V_o = V_s D \quad (8)$$

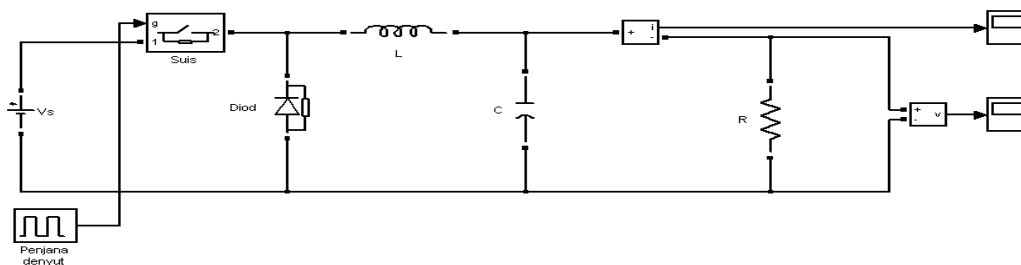


RAJAH 4 : Arus induktor, i_L

Justeru itu, **penukar Buck** menghasilkan keluaran yang lebih kurang atau sama dengan masukan. Kesimpulannya, V_o bergantung kepada V_s dan nisbah kerja, D . Didapati nilai i_L adalah sama dengan arus beban perintang i_o , ini adalah kerana purata arus kapasitor i_C adalah sifar semasa keadaan mantap.

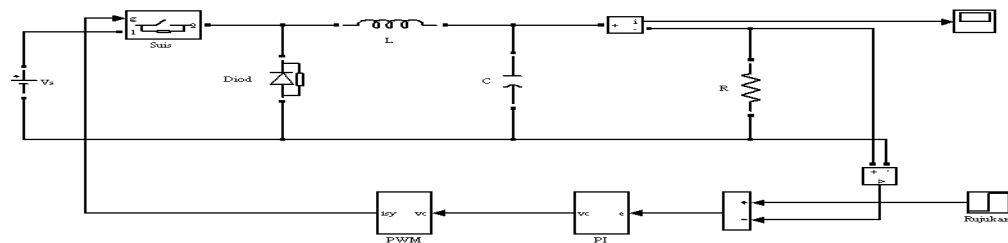
$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (9)$$

Model **penukar Buck** menggunakan Simulink ditunjukkan pada Rajah 5 dan Rajah 6. Ia dimodelkan sebagai suatu sistem berterusan menggunakan penyelesaian *ode23t*. Sambungan komponen-komponen litar dilakukan secara 'seret-dan-letak', senang dan pantas dilakukan. Selepas litar siap dibina, model dilarikan untuk mendapatkan hasil penyelakuan v_o dan i_o .



RAJAH 5 : Model penukar dengan Buck sistem kawalan gelung buka

Untuk tujuan mendapatkan sambutan dinamik model sistem **penukar Buck**, dua teknik kawalan pensuisan dilaksanakan iaitu sistem kawalan gelung buka dan sistem kawalan gelung tutup. Untuk sistem kawalan gelung buka, keluaran tidak mempunyai apa-apa kesan pada tindakan kawalan. Oleh itu suis dikawal buka tutupnya melalui isyarat kawalan berdasarkan nisbah kerja, D yang dijana secara terus.

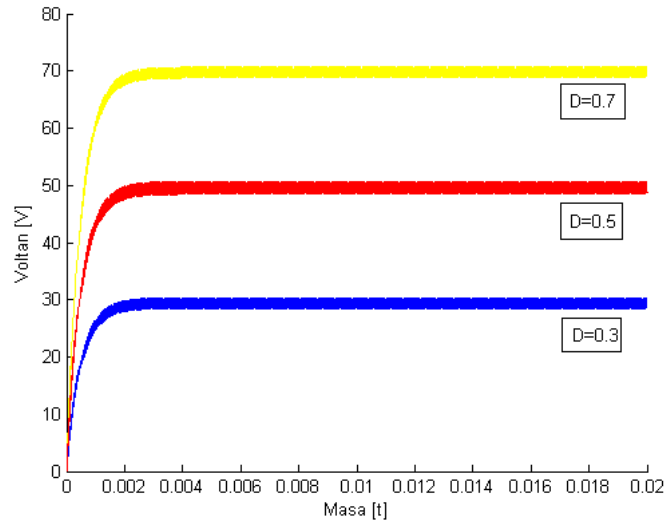


RAJAH 6 : Model **penukar Buck** dengan sistem kawalan gelung tutup

Sementara itu, sistem kawalan gelung tutup pula mengekalkan hubungan yang telah ditetapkan antara masukan rujukan dan keluaran dengan membandingkan kedua-duanya, lalu menggunakan ralat terhasil sebagai intipati kawalan, Ogata (1997). Mengikut teknik ini suis dikawal buka tutupnya melalui cara ralat disuap ke dalam pengawal (berkadaran + pengamir) PI untuk meminimumkannya, kemudian isyarat kawalan yang terhasil dibandingkan dengan isyarat pembawa segitiga berfrekuensi tinggi untuk menjana isyarat modulasi lebar denyut (PWM), yang mewakili nisbah kerja, D .

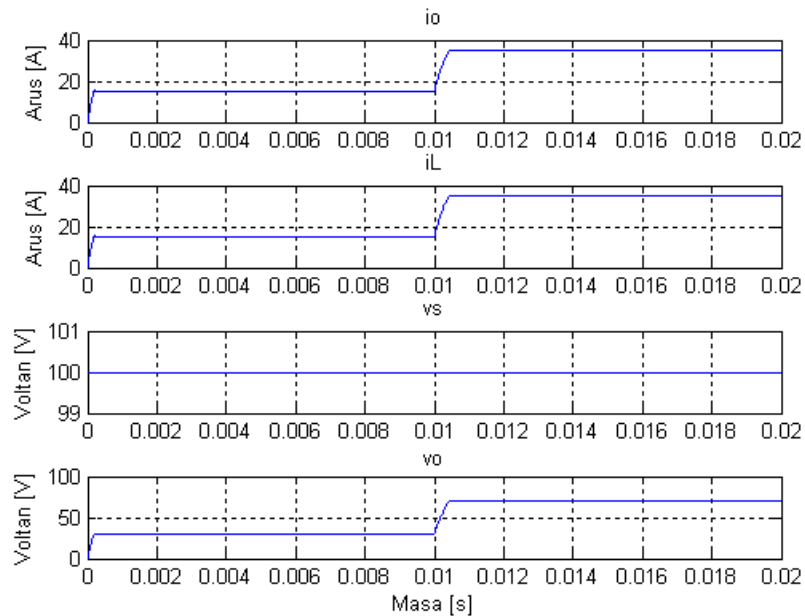
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Rajah 7 menunjukkan keputusan penyelakuan litar **penukar Buck** menggunakan sistem kawalan gelung buka. Dapat diperhatikan V_o daripada hasil penyelakuan adalah sama dengan V_o yang dikira melalui persamaan (8). Bentuk gelombang V_o adalah seperti bentuk gelombang masukan unit langkah. Bila $D = 0.3 \rightarrow V_o = 30 \text{ V}$; $D = 0.5 \rightarrow V_o = 50 \text{ V}$; dan $D = 0.7 \rightarrow V_o = 70 \text{ V}$. Masa naik, t_r untuk V_o bila $D = 0.3$, ialah 0.0018s ; 0.0014s untuk $D = 0.5$; dan 0.001s untuk $D = 0.7$. Masa pengesetan, t_s adalah 0.002s untuk ketiga-tiga nilai V_o . Tiada puncak terlajak yang terhasil. Masa penyelakuan adalah sekitar 1 saat untuk pemproses komputer 1794 MHz Pentium.



RAJAH 7 : V_o dengan D yang berubah-ubah

Berdasarkan Rajah 8, dapat diperhatikan bentuk gelombang masing-masing untuk i_o , i_L , v_s dan v_o bila mana D diubah dari 0.3 ke 0.7 pada masa 0.01s dalam keadaan mantap. Keputusan yang diperolehi ini adalah seperti yang dijangkakan iaitu sama dengan keputusan pengiraan secara teori mengikut persamaan (8). Sambutan dinamik sistem gelung tutup bertindak balas dengan baik di mana ia meningkatkan magnitud arus untuk i_o dan i_L dari 15 A ke 35 A serta magnitud voltan v_o dari 30 V ke 70 V pada masa 0.01s, mengikut masukan rujukan yang ditetapkan. Masa naik, t_r untuk ketiga-tiga parameter di atas ialah 0.0003s dan masa pengsetan, t_s ialah 0.0005s. Nilai gandaan berkadaran, $K_p = 16$, dan nilai gandaan pengamir, $K_i = 8$ ditetapkan untuk pengawal PI. Masa penyelakuan ialah sekitar 3 saat.



RAJAH 8 : i_o , i_L , v_s dan v_o bila D berubah dari 0.3 kepada 0.7 pada masa 0.01s

Makalah ini telah membincangkan dan memberikan contoh suatu pendekatan untuk mempelajari sistem elektronik kuasa dengan mudah, pantas dan berkesan menggunakan pendekatan pemodelan dan penyelakuan komputer menggunakan pakej perisian Matlab Simulink. Berdasarkan kepada keputusan-keputusan yang diperolehi, keupayaan Simulink dalam memodel dan menyelaku litar **penukar Buck** adalah sangat baik dan berkesan, selain itu masa penyelakuan juga pantas. Bukan itu saja, parameter litar atau gandaan pengawal PI boleh diubah-ubah dengan mudah untuk melihat sebarang perubahan yang berlaku. Oleh kerana pakej Matlab Simulink menyediakan persekitaran aplikasi yang cukup luas, selain pengawal PI, sistem kawalan model **penukar Buck** di atas boleh juga mengaplikasikan sistem kawalan Neural Network atau Fuzzy Logic. Selain itu, sistem elektronik kuasa boleh diperluaskan lagi aplikasinya kepada sistem kuasa, kualiti kuasa dan sebagainya.

RUJUKAN

- Daniel W. Hart. 1997. Introduction to power electronics. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, NJ 07458
- Juing-Huei Su, Jiann-Jong Chen & Dong-Shiuh Wu. 2002. Learning feedback controller design of switching converters via MATLAB/SIMULINK. *IEEE Transaction on Education*, Vol. 45, No. 4, 307-315
- Katsuhiko Ogata. 1997. Modern control engineering. Prentice-Hall International Inc. Upper Saddle River, NJ 07458
- M. H. Rashid. 2004. Power electronics circuits, devices and applications, Third Edition. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ 07458
- N. C. Sahoo, R. Vejjan & R. Gobbi. 2008. Using Pspice for teaching output current control in D.C.-A.C. inverters to undergraduate students. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 45/4. 356-370
- Saffet Ayasun & Chika O. Nwankpa. 2006. Transformer tests using MATLAB/Simulink and their intergration into undergraduate Electric Machinery Courses. *Comput Appl Eng Educ*, 14: 142-150.
- The Mathworks Inc. 2009. Simulink 7 Getting Started Guide. 3 Apple Hill Drive. Natick, MA 01760-2098.
- Vitor Fernao Pires & Jose Fernando A. Silva. (2002). Teaching nonlinear modeling, simulation, and control of electronic power converters using MATLAB/SIMULINK. *IEEE Transaction on Education*., Vol. 45, No. 3, 253-261.

.

.

.

.

Corresponding Author : yushaiza@vlsi.eng.ukm.my

JADUAL 1 : Senarai gambar rajah blok Simulink digunakan dalam pemodelan

Nama Blok	Lokasi Blok	Unit	Keterangan
<i>Gain</i>	<i>Simulink/Commonly Used Blocks</i>	2	Rekabentuk pengawal PI
<i>Integrator</i>	<i>Simulink/Commonly Used Blocks</i>	1	
<i>Sum</i>	<i>Simulink/Commonly Used Blocks</i>	1	
<i>Scope</i>	<i>Simulink/Commonly Used Blocks</i>	2	
<i>Mux</i>	<i>Simulink/Commonly Used Blocks</i>	1	
<i>Step</i>	<i>Simulink/Sources</i>	1	Penyelakuan kawalan gelung tutup
<i>Pulse Generator</i>	<i>Simulink/Sources</i>	1	Penyelakuan kawalan gelung buka
<i>DC Voltage Source</i>	<i>SymPowerSys/Electrical Sources</i>	1	Sumber voltan AT
<i>Series RLC Branches</i>	<i>SymPowerSys/Elements</i>	3	Beban R dan penuras L-C
<i>Ideal Switch</i>	<i>SymPowerSys/Power Electronics</i>	1	Peranti elektronik kuasa
<i>Diode</i>	<i>SymPowerSys/Power Electronics</i>	1	
<i>Current Measurement</i>	<i>SymPowerSys/Measurements</i>	1	Pengukuran voltan dan arus
<i>Voltage Measurement</i>	<i>SymPowerSys/Measurements</i>	1	

JADUAL 2: Parameter litar **penukar Buck**

Komponen	Nilai
Voltan masukan AT, V_s	100 V
Frekuensi pensuisan, f_s	20 kHz
Induktor, L	1 mH
Kapasitor, C	1 μ F
Beban perintang, R	2 Ω